

А.Гавриш, докт. техн. наук; О.Мельник

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## ДОСЛІДЖЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ МАГНІТНО-АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ З МАГНІТОМ'ЯКИХ СПЛАВІВ

*У статті розглянуто результати експериментальних досліджень з вивчення параметрів шорсткості оброблюваної поверхні магнітно-абразивним методом. Запропоновано рекомендації з вибору основних технологічних параметрів оброблення цим методом для отримання заданих кресленням параметрів шорсткості поверхні.*

A. Gavrysh, E. Melnyk

## RESEARCH OF SURFACE ROUGHNESS AT MAGNETICALLY-ABRASIVE TREATMENT OF DETAILS MADE OF MAGNETICALLY SOFT ALLOYS

*The results of experimental researches the purpose of which was to learn the parameters of roughness of the processed surface are considered in the article of magnito-abrasive method. As a result of processing of experimental data recommendations were offered, on the choice of basic technological parameters of treatment this method for the receipt of by a draft preset the parameter of roughness of surface.*

### Умовні позначення

$\delta$	– робочий зазор, мм;
$f$	– число степеней свободи;
$t$	– час обробки, хв.;
$u$	– номер серії дослідів;
$n_o$	– частота осциляції, дв.хд/хв;
$A$	– амплітуда осциляції, мм;
$B$	– магнітна індукція в робочому зазорі, Т;
$MOP$	– мастильно-охолоджувальна рідина.

**Постановка проблеми.** Як відомо, в сучасних дослідженнях прогресивних методів обробки одне з провідних місць займає магнітно-абразивна обробка деталей з різноманітних матеріалів. Оброблювана деталь має складні геометричні форми, обробка яких звичайними методами, як правило, ускладнена, а основні вимоги до них, закладені у кресленні, є дуже високими. Однією з основних вимог є шорсткість оброблюваної поверхні. На фінішних операціях, зазвичай, щоб отримати високий клас шорсткості використовується ручна праця висококваліфікованого слюсаря. Тому застосування магнітно-абразивної обробки на цьому етапі є виходом з становища, що склалося.

**Аналіз останніх досліджень.** Питання дослідження шорсткості поверхні при абразивній обробці викладені у багатьох працях, але існує низка питань, особливо таких, які торкаються магнітно-абразивної обробки деталей з магнітом'яких сплавів, що вимагає додаткових досліджень. Відомо, що шорсткість поверхні, яка отримується при магнітно-абразивній обробці, визначають марка і фракція порошку, а також режими обробки (швидкість різання, частота і амплітуда осциляції, магнітна індукція в робочому зазорі, робочий зазор, MOP і час оброблення) [1].

**Мета роботи.** Метою даної роботи є вивчення результатів експериментальних досліджень шорсткості поверхні при магнітно-абразивній обробці деталей з магнітом'яких сплавів, результатів їх математичної обробки та подання відповідних рекомендацій виробництву.

Дослідження виконуються в рамках науково-дослідної роботи «Розробка технології отримання і обробка композиційних підшипникових матеріалів для важких умов експлуатації» (Державна науково-технічна програма МОН України № 2140-п).

**Виклад основного матеріалу.** Експерименти проводилися на спеціальній установці, яка дозволяє комплексно вивчати даний процес. Установка оснащена приводом безступінчатого регулювання чисел оборотів деталі, частоти осциляції і магнітної індукції. Тривалість циклу обробки встановлюється за допомогою реле часу, типу ВЛ-23У4. Для візуального спостереження за ходом процесу установка оснащена електричними приладами: лічильниками чисел оборотів і частоти осциляції.

Процес формування шорсткості досліджувався в два етапи. На першому етапі порівнювалися працездатності (забезпечення найменшої шорсткості) порошків композиційних магнітно-абразивних матеріалів і знаходилися області оптимальних режимів обробки. У вибраних порошках марки Ж15КТ, ПОЛІМАМ-Т1 і ПОЛІМАМ-М1 абразивної складової є тугоплавкі з'єднання (карбіди, борид, карбонітриди) перехідних металів IV-V груп періодичної системи елементів, які відрізняються вищими абразивними властивостями і ступенем взаємодії з магнітною основою в порівнянні зі звичайними абразивами - карбідами кремнію, бору, електрокорунда та ін. Основні характеристики композиційних порошків наведені в роботі [2]. Як випробовувані зразки служили кільця із сплавів 80НХС, 81НМТ, 50НХС

Таблиця 1 - Досліджувані фактори і рівні їх варіювання

Фактор	Кодове позначення фактора	Рівень варіювання		
		-1	0	+1
Магнітна індукція в робочому зазорі В,Т	X1	0,5	1,0	1,5
Частота обертання деталі n об/хв	X2	800,0	1000,0	1200,0
Частота осциляції n <sub>o</sub> дв.хд/хв	X3	500,0	600,0	700, 0
Робочий зазор n, мм	X4	1,0	1,5	2, 0

Початкова шорсткість поверхні вимірювалася на профілографі-профілометрі моделі 252 і відповідала параметру  $Ra = 0,25$  мкм.

За критерій оцінки абразивної здатності порошків, при виконанні першого етапу досліджень, було прийнято зменшення шорсткості за 1 хв. При цьому змінювали два параметри магнітно-абразивної обробки: частоту обертання зразка і магнітну індукцію в робочому зазорі. При обробці на режимах, що характеризуються швидкістю  $v = 100$  м/хв і магнітною індукцією  $B = 0,75$  Т і 1,5 Т, отримані відповідно наступні параметри шорсткості: для порошку Ж15КТ (розміри частинок  $A = 63 \dots 250$  мкм)  $Ra = 0,025 \dots 0,044$  мкм, а для порошків ПОЛІМАМ-Т1 і ПОЛІМАМ-М1 ( $A = 200 \dots 400$  мкм) -  $Ra = 0,075 \dots 0,085$  мкм. Із збільшенням швидкості обробки до 125 м/хв для порошку Ж15КТ ( $A = 10 \dots 60$  мкм) отримано значення  $Ra = 0,035 \dots 0,055$  мкм, а для порошків ПОЛІМАМ-Т1 і ПОЛІМАМ-М1 ( $A = 63 \dots 200$  мкм) - 0,022-0,070 мкм.

За наслідками проведених експериментів можна стверджувати, що мінімальна шорсткість поверхні ( $Ra = 0,022 \dots 0,025$  мкм) в діапазоні швидкостей  $v = 100 \dots 125$  м/хв отримана при обробці порошком ПОЛІМАМ-Т1 ( $A = 63 \dots 200$  мкм).

Таблиця 2 - Матриця планування та результати експериментів

№ досліджу	$x_0$	$B(x_1)$	$n(x_2)$	$n_0(x_2)$	$\delta(X_4)$	Y1	Y2
1	+1	-1	-1	-1	-1	0.0233	0.0223
2	+1	+1	-1	-1	+1	0.0273	0.0251
3	+1	-1	+1	-1	+1	0.0165	0.0205
4	+1	+1	+1	-1	-1	0.0222	0.0236
5	+1	-1	-1	+1	+1	0.0235	0.0250
6	+1	+1	-1	+1	-1	0.0250	0.0236
7	+1	-1	+1	+1	-1	0.0190	0.0210
8	+1	+1	+1	+1	+1	0.0251	0.0278
9(Нульовий)		0	0	0	0	0.0268	0.0251

Вибір порошку дозволив перейти до пошуку оптимальної області режимів обробки.

На другому етапі досліджень процес обробки описувався за допомогою лінійної моделі, яка надалі служила для відшукування області оптимуму методом крутого сходження. Досліджувані чинники і рівні їх варіювання дані в табл. 1, при цьому були стабілізовані амплітуда осциляції  $A = 2$  мм, початкова шорсткість ( $Ra = 0,25$  мкм), час обробки ( $t = 1$  хв). Як МОР застосовувалося мастило 10-5%-ний АКВОЛ.

Таблиця 3 – Порівняльна таблиця

№ досліджу	$\bar{y}$	$S_u^2$	$\hat{y}$	$(\bar{y} - \hat{y})^2$	Шар металу, що знімається
1	0.0228	$0.5 \cdot 10^{-6}$	0.0226	$4 \cdot 10^{-6}$	92.2
2	0.0262	$2.4 \cdot 10^{-6}$	0.0262	0	100.3
3	0.0185	$8 \cdot 10^{-6}$	0.0202	$2.89 \cdot 10^{-6}$	61.1
4	0.0229	$0.98 \cdot 10^{-6}$	0.0238	$0.81 \cdot 10^{-6}$	87.8
5	0.0243	$1.1 \cdot 10^{-6}$	0.0262	$2.7 \cdot 10^{-6}$	91.7
6	0.0243	$0.98 \cdot 10^{-6}$	0.0262	$3.6 \cdot 10^{-6}$	60.9
7	0.0200	$1 \cdot 10^{-6}$	0.0202	$4 \cdot 10^{-6}$	78.0
8	0.0265	$3.4 \cdot 10^{-6}$	0.0238	$7.3 \cdot 10^{-6}$	72.4
9(Нульовий)	0.02595	$1.5 \cdot 10^{-6}$	0.0232	$7.5 \cdot 10^{-6}$	66.9

Для знаходження лінійної моделі використовувався план 1-го порядку - дробовий факторний експеримент типу  $2^{4-1}$  [2]. Матриця планування і результати експериментів наведені в табл. 2.

Гіпотеза про однорідність дисперсій перевірялася за G-критерієм Кохрена. Значення цього критерію визначалося за формулою:

$$G_{\text{рог}} = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2},$$

де  $S_{u \max}^2$  - максимальне значення дисперсій для даних дослідів;  $S_u^2$  - дисперсія для кожної  $u$ -ї серії дослідів ( $u = 1, 2, \dots, N$ ). Порівнюємо розрахунковий і табличний критерій при рівні значущості  $\alpha = 0,05$  і числі степені свободи  $f = n - 1$ :

$$G_{\text{дод}} = 0,639 > G_{\text{дг}} = 0,403$$

Як видно, гіпотеза про однорідність дисперсій підтверджується, і, отже, модель однорідна.

Гіпотеза про адекватність результатів експерименту, представленого рівнянням регресії, перевірялася з допомогою критерії Фішера:

$$F = \frac{S_{\text{дд}}^2}{S_{\text{дд}}^2}, \quad (1)$$

звідси середньоквадратична помилка досвіду  $S_{\text{дд}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N S_u^2}{N} = 246 \cdot 10^{-6}$ . При цьому

середньоквадратична помилка коефіцієнтів шуканої моделі буде  $S_{bi} = \frac{S_{\text{дд}}^2}{n}$ , де  $n$  - число серій дослідів у даному плані, або  $S_{bi} = 0,3939 \cdot 10^{-6}$ . Тоді довірчий інтервал для всіх коефіцієнтів регресії:

$$\Delta b_i = \pm t S_{bi} = \frac{\pm t S_{\text{дд}}}{\sqrt{Nn}} = 0,0009318.$$

Таким чином, у результаті математичної обробки виявилось, що коефіцієнти  $b_3$  і  $b_4$  менші від довірчого інтервалу, тобто вони незначущі.

Обчислюючи критерій Фішера за формулою (1) і порівнюючи його з табличним, укладаємо, що аналізована модель адекватно описує результати експериментів, отже,  $\hat{y}$  за точністю не гірше від експериментальних  $\bar{y}$  (табл. 3).

**Висновки.** На підставі математичної обробки отриманих експериментальних даних можна дати такі рекомендації:

1. Робочий зазор при обробці деталей порошком ПОЛІМАМ-Т1 ( $A = 63 \dots 200$  мкм) повинен бути більший 0,5 мм.

2. Для отримання шорсткості поверхні, що характеризується параметром  $Ra = 0,025$  мкм (при початковій шорсткості, відповідною  $Ra = 0,25$  мкм), необхідно вибирати такий режим:  $v = 2000$  об/хв,  $n_0 = 1000$  дв. ход/хв,  $B = 1$  Т, робочий зазор  $\delta = 1$  мм, амплітуда осциляції  $A = 1,5$  мм, час обробки 1 хв.. При цьому режимі забезпечується і найбільше знімання металу.

3. Шорсткість поверхні, що характеризується параметром  $Ra < 0,025$  мкм, можна отримати, здійснюючи обробку в два цикли. Спочатку протягом 30 с слід працювати при магнітній індукції  $B = 1$  Т, а потім 30 с при плавному зменшенні її до нуля.

#### Література

1. Гавриш А.П., Мельничук П.П. Технологія обробки магнітних матеріалів: Навчально-довідниковий посібник для студентів спеціальностей 7.090202 «Технологія машинобудування» 7.090203 «Металорізальні верстати та системи».- Житомир: ЖДТУ, 2004. - 484с.
2. Душинський В. В. Основи наукових досліджень. Теорія та практика з програмним забезпечення. Київ: «Вища школа» НТУУ «КПІ», 2000. - 408с.
3. Свойства порошков металлов, тугоплавких соединений и спеченных материалов. Информационный справочник. -К.: Наукова думка, 1978. - 184 с.
4. Патент. Спосіб виготовлення композиційного магнітно-абразивного порошку В24D3/34 МПК (2006) В24D 3/34, Поліщук Володимир Сидорович.

5. Parametric study of magnetic abrasive finishing process. Dhirendra K. Singh, V. K. Jain, and V.Raghuram  
Mechanical Engineering Department, Indian Institute of Technology Kanpur, Kanpur 208016, India  
Accepted 10 October 2003. Available online 12 April 2004.

*Одержано 14.03.2008 р.*